

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКНИСТОЙ ЧАСТИЦЫ НА ПРОЦЕСС НАПЫЛЕНИЯ ПОТОКОМ СЖАТОГО ВОЗДУХА

N.N. Yasinskaya, V.I. Olshanski, E.V. Chukasava-Ilyushkina

Research of influence of aerodynamic parameters of fibrous particles on its sputtering by compressed air jet

На кафедре «Прядение натуральных и химических волокон» УО «ВГТУ» разработана новая технология получения текстильного многослойного материала аэродинамическим способом формирования. Текстильный материал состоит из полотна основы, ламинированного волокнистыми частицами, размер которых не превышает 1,5 мм.

Одной из основных операций технологического процесса получения многослойного материала является нанесение волокнистых частиц потоком сжатого воздуха на основу специально разработанным аэродинамическим устройством. Поэтому при формировании многослойного текстильного покрытия способом аэродинамического напыления необходимо учитывать ряд факторов, которые оказывают влияние на процесс перемещения волокнистых частиц в воздушной среде: траекторию, скорость, время ориентации, величину сопротивления, оказываемого воздушной средой, и другие факторы, от которых зависит качество ворсового покрытия.

В данной работе исследовано влияние аэродинамических параметров волокнистой частицы на процесс напыления. Из-за наличия тормозящей силы Стокса и силы тяжести, траектория движения волокнистой частицы имеет криволинейный характер. Рассмотрим

процесс движения дисперсной частицы массой m в потоке сжатой струи, истекающей из диффузора, представленного на рис. 1, на полотно основы. Движение частицы массой m происходит по кривой BC' , и частица отклоняется от точки C на величину CC' .

Введем систему координат xVy , отрываясь от точки B диффузора, частица массой m имеет начальную скорость V_0 , которую можно определить по формуле Сен-Венана [1]

$$V_0 = \sqrt{2g \frac{K}{K-1} RT_0 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right]} \quad (1)$$

Скорость движения частицы в направлении оси x с учетом силы торможения F обозначим V_x , скорость движения частицы в поле сил тяжести обозначим V_y .

Скорость V_x определена по формуле [2]:

$$V_x = V_0 \exp\left(-\frac{3\pi\mu^* d_p t}{m}\right) \quad (2)$$

$$\text{Скорость } V_y \text{ равна: } V_y = gt \quad (3)$$

Ускорение частицы в проекции на ось x определено, как

$$a_x = -V_0 \frac{3\pi d_p \mu^*}{m} e^{-\frac{3\pi d_p \mu^* t}{m}} \quad (4)$$

Ускорение частицы на ось y равно

$$a_y = g \quad (5)$$

Н.Н. Ясинская, к.т.н.,
В.И. Ольшанский, к.т.н.,
Е.В. Чукасова-Ильюшкина, асс.
Витебский государственный
технологический университет

РИСУНОК 1

Схема истечения волокнистой частицы из диффузора, β – угол подъема диффузора



Линейные координаты движения частицы массой m соответственно равны

$$x = V_0 t - \left(\frac{V_0 3 \pi d_s \mu^*}{2 m} e^{-\frac{3 \pi d_s \mu^*}{m} t} \right) t^2$$

$$y = \frac{g t^2}{2} \quad (6)$$

Решение системы (6) найдено численным методом. Координата определяется по формуле

$$y = \frac{g t^2}{2} \quad (7)$$

Координата CC' соответствует отрезку (рис. 1). Угол подъема диффузора от линии горизонта можно определить из соотношения

$$\beta = \arctg \frac{y}{X_{BC}} \quad (8)$$

В результате теоретических исследований установлено, что расположение диффузора под углом β обеспечит попадание дисперсной частицы массой m в точку C .

Для экспериментального исследования процесса напыления с учетом аэродинамических параметров

частиц был применен метод планирования эксперимента. В общем случае модель исследуемого процесса может иметь вид полинома второго порядка.

Объектом исследования в данном случае принята поверхностная плотность многослойного текстильного полотна.

По результатам регрессионного анализа данных эксперимента была построена графическая зависимость, представленная на рис. 2.

Построена математическая модель зависимости поверхностной плотности от уровня расположения диффузора:

$$Y = 144.46 + 123.3X - 1023X^2 \quad (9)$$

Анализ графической зависимости, представленной на рис. 2, показывает, что при увеличении координаты по оси y до определенного значения идет значительное увеличение поверхностной плотности. Однако дальнейшее увеличение координаты по оси y приводит к уменьшению оптимизируемого параметра и к ухудшению процесса напыления. Это происходит из-за того, что значительно увеличивается сопротивление, которое частицам необходимо преодолевать.

Для определения оптимального расстояния по оси y использован градиентный метод поиска, согласно которому производная от целевой функции в точке, соответствующей ее максимальному значению, равна нулю.

Дифференцированием уравнения (9) и приравнянием производной к нулю получаем:

$$\frac{dY}{dX} = 123.3 - 2046 \cdot X, \quad (10)$$

откуда получим расстояние по оси y :

$$X = 0.06 \text{ м.}$$

Подставляя значение расстояния по оси y в уравнение (8) и решая его, получим значение оптимального угла β :

$$\beta = 6.84 \text{ градуса.}$$

Таким образом, для получения максимального значения поверхностной плотности многослойного текстильного материала, формируемого способом аэродинамического напыления, угол положения диффузора по отношению к горизонтальной оси $\beta = 7^\circ$.

Литература

1. Повх И.Л. *Техническая гидродинамика* / И.Л. Повх. – Ленинград, изд-во «Машиностроение», 1969. – 524 с.
2. Лойтянский Л.Г. *Механика жидкости и газа* / Л.Г. Лойтянский. – М., Л.: Гостехиздат, 1950. – 676 с.

РИСУНОК 2

Зависимость поверхностной плотности от угла расположения диффузора

